

Geo-elektrische profielen bij de geologische en hydrogeologische detailkartering

door W. DE BREUCK, G. DE MOOR en T. BURVENICH

Centrum voor Hydrogeologisch Onderzoek (FKFO), Gent

GEOELECTRIC TRAVERSING IN DETAILED GEOLOGIC AND HYDROGEOLOGIC MAPPING

Summary. — Goelectric traverses have been made in several regions of the Flanders, in order to test their usefulness for mapping purposes. The three regions selected had previously been covered by a grid of resistivity soundings mostly in Wenner arrangement.

In the Beernem area different arrays have been used along the same line. These multiple traverses have provided data which allowed a comparison of the different arrays as well as a detailed subdivision in geoelectrical homogeneous zones coinciding with lithological units.

Along traverse 136 GP/EE axial dipole measurements have been made over a distance of 2,7 km. For every point two values were determined: one for an array 2-20-2 and another for a 5-20-5 array. The first number stands for the length in meters of the current electrode separation, the third for the length of the voltage electrode separation, and the second for the distance between the two inner electrodes of both dipoles.

On the traverse 136-212 GP/AA Wenner arrangement perpendicular to the line has been used over a distance of 9,6 km to determine at each spot ρ_{20} , ρ_{40} , and ρ_{80} . Along the same line apparent resistivities have been measured with axial dipole arrays 2-20-2, 5-20-5, 5-40-5 and 10-40-10, parallel with the line.

In the Westhoek area, a part of the coastal plain with salt-water encroachment in the unconfined aquifer, 21 traverses (194 GPW1 to 194 GPW21) have been run in the vicinity of Veurne (Furnes). The resistivities ρ_{10} were measured by a longitudinal Wenner array. Since the traverses had been confined to a geoelectric homogeneous zone a quantitative interpretation could be performed. A relationship between ρ_{10} and the depth of the salt water — fresh water interface was computed from previous soundings. This relationship has been used to convert the apparent-resistivity data along the traverses into depth to interface values.

The polder area of the Flemish Valley north of Ghent also has an unconfined aquifer with brackish water at variable depths. The situation is very similar to the one in the coastal plain although the variations here may not so readily find an explanation. One single traverse 142 GPW1 of 3550 m length has been run with a Wenner array for ρ_{10} . A relationship based upon former soundings has been used to convert resistivity data into interface depths.

Resistivity traversing proves to be a very accurate and speedy tool for detailed mapping. Even a qualitative interpretation of a traverse, multiple if possible, can be sufficient to outline the boundaries between lithological or hydrogeological units. Quantitative interpretation is possible when in conjunction with a sounding grid, previously established, a relationship between the fixed electrode array and the unknown factor is found.

Once a relationship is established, fixed-electrode separations allow a more detailed survey than resistivity soundings. These have to be long enough to obtain a reliable curve and hence average depth or resistivity data over longer a distance

than fixed-electrode measurements which tend to be as short as possible. When traversing for qualitative purposes dipole arrangements have an advantage over Wenner arrangement in being speedier.

PROFILS GEOELECTRIQUES DANS LES LEVES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES DE DETAIL

Résumé. — Des profils géoélectriques ont été exécutés dans plusieurs régions de Flandre dans le but d'évaluer leur utilité pour des levés de détail. Les trois régions d'essai avaient été préalablement couvertes d'un réseau de sondages de résistivité avec le dispositif de Wenner.

Dans la région de Beernem plusieurs dispositifs d'électrodes ont été essayés le long d'un même profil. Ces profils multiples ont fourni des données qui ont permis de comparer les différents dispositifs et ont conduit à une délimitation détaillée des zones géoélectriques homogènes qui coïncident avec des unités lithologiques. Le profil 136 GP/EE qui couvre une distance de 2,7 km a été relevé en dipole axial. A chaque point la résistivité apparente a été déterminée avec un dispositif 2-20-2 et avec un dispositif 5-20-5. Le premier nombre indique la longueur en mètres du dipole de courant, le troisième la longueur du dipole de mesure et le deuxième la distance entre les électrodes intérieures des deux dipoles. Sur le profil 136-212 GP/AA, couvrant une distance de 9,6 km, le dispositif Wenner a été placé perpendiculairement à la ligne et les valeurs de Q_{20} , Q_{40} et Q_{80} ont été mesurées à chaque endroit. Le long du même profil les résistivités apparentes ont été déterminées à l'aide de dispositifs à dipole axial 2-20-2, 5-20-5, 5-40-5 et 10-40-10, maintenus parallèlement à la ligne.

Dans la plaine côtière occidentale où la nappe phréatique contient de l'eau saumâtre en profondeur, 21 profils (194 GPW1 à 194 GPW21) ont été relevés aux environs de Veurne (Furnes). Les résistivités Q_{10} ont été mesurées à l'aide d'un dispositif Wenner longitudinal. Les profils, étant situés dans une zone géoélectrique homogène, ont pu être interprétés quantitativement. Une relation entre Q_{10} et la profondeur de la surface de séparation entre eau douce et eau saumâtre a été déduite de sondages électriques préalables. Cette relation a permis de convertir les résistivités apparentes mesurées le long des profils en profondeurs de la limite entre l'eau douce et l'eau saumâtre.

Sous les polders de la Vallée Flamande au nord de Gand se trouve également une nappe phréatique avec de l'eau saumâtre à des profondeurs variables. Les circonstances sont très semblables à celles régnant dans la plaine côtière, quoique l'explication des variations soit moins aisée. Un seul profil 142 GPW1 de 3550 m de long a été relevé en dispositif Wenner longitudinal pour la mesure de Q_{10} . Le rapport entre les résistivités apparentes Q_{10} et les profondeurs de la surface de séparation, déduit de sondages antérieurs, a servi à la conversion des valeurs de résistivité apparente en profondeurs.

Les profils de résistivités forment un instrument précis et rapide pour la cartographie détaillée. L'interprétation qualitative d'un profil, de préférence multiple, peut déjà suffire en elle-même à la délimitation de zones lithologiques ou hydrogéologiques homogènes. L'interprétation quantitative est possible si l'on a pu établir, à l'aide d'un réseau de sondages préalables une relation simple entre le dispositif fixe et le facteur recherché. A l'aide de cette relation les mesures à dispositif fixe permettent un levé plus détaillé qu'avec des sondages de résistivité. Ceux-ci doivent s'étendre sur des distances considérables pour fournir une courbe complète. De ce fait ces profondeurs et ces résistivités sont des moyennes obtenues sur des distances beaucoup plus grandes que celles des dispositifs à séparation constante, qui sont normalement beaucoup plus courts. Pour des profils qualitatifs les dispositifs à dipole ont l'avantage d'être plus expéditifs que le dispositif Wenner.

1. INLEIDING

Sinds ettelijke jaren heeft het Geologisch Instituut (R.U. Gent) de systematische kartering aangevat van de kwartaire sedimenten en van het reliëf en de litologie van het bedolven Tertiair in België. In verband met dit programma werden ook sommige hydrogeologische aspecten behandeld. Eén van die aspecten behelst de studie van de zoet-brakwater verdeling in het Kustgebied en in de Vlaamse Vallei.

Bij deze onderzoeken werd in grote mate gebruik gemaakt van geo-elektrische perspektiemethoden. Meestal werden sonderingen volgens de Wenner-opstelling met gelijkstroom uitgevoerd (DE BREUCK & DE MOOR, 1962). In elk sondeerpunt wordt een reeks metingen van de schijnbare resistiviteit voor toenemende elektrodenafstanden van 1 tot 100 m uitgevoerd. Elke meting geschiedt dubbel met stroominversie. Door de schijnbare resistiviteiten uit te zetten tegenover de elektrodenafstanden wordt in elk sondeerpunt een schijnbare-resistiviteitskurve bekomen. De spreiding van de sonderingen bedraagt 1 à 1,5 per km². De verkregen gegevens, tevens door boringen gecontroleerd, hebben zeer goede resultaten opgeleverd.

Ten einde een grotere nauwkeurigheid bij de kartering en een snellere wijze van opname te bekomen werden geo-elektrische opnamen met vaste elektrodenafstand ingeschakeld. Hierbij wordt op elke plaats de schijnbare resistiviteit ρ_a voor slechts één elektrodenafstand a gemeten. Na iedere meting wordt de opstelling in haar geheel verplaatst. De meetplaatsen liggen ofwel langsheen een profiellijn (resistiviteitsprofilering), ofwel verspreid over het ganse gebied (resistiviteitskartering).

Resistiviteitsprofielen werden in drie gebieden van Laag-België opgenomen, nl. in de Westhoek, in het noorden van de Vlaamse Vallei en in de omgeving van Beernem.

2. RESISTIVITEITSPROFIELEN

De opname van een resistiviteitsprofiel gebeurt door het meten van de schijnbare resistiviteit voor een enkele elektrodenafstand in plaatsen die op min of meer regelmatige afstand langsheen een profiellijn liggen. Elke meetplaats wordt zo bepaald dat ze met een vast punt op de elektrodenopstelling samenvalt, zoals het centrum van een Wenner-opstelling. De indringingsdiepte die men bereiken wil, bepaalt de keuze van de elektrodenafstand.

De opname kan volgens veel verschillende opstellingen geschieden: Wenner, Schlumberger, asymmetrische Schlumberger, axiaal-dipool of loodrecht-dipool. Iedere opstelling kan evenwijdig of loodrecht op de profiellijn verplaatst worden. Een transversale opstelling vergt meestal meer werk en tijd, voornamelijk in bossen, begroeide akkers of bewoonde zones.

Wanneer een resistiviteitsprofiel over hellende lagen opgenomen wordt is een opstelling loodrecht op de profiellijn te verkiezen, althans indien de profiellijn volgens de helling verloopt.

In het resistiviteitsprofiel worden de gemeten waarden voor de schijnbare resistiviteit uitgezet tegenover de afstand tussen de meetplaatsen.

De schijnbare resistiviteit wordt bepaald door tal van factoren, namelijk het aantal lagen, hun dikte, hun diepte en hun resistiviteiten. Deze factoren variëren onafhankelijk van elkaar waardoor hun invloed op de schijnbare resistiviteit moeilijk te bepalen is. De gemeten schijnbare resistiviteit is een uitdrukking van de globale geo-elektrische gesteldheid binnen de maximale indringingsdiepte. Het resistiviteitsprofiel geeft een kwalitatief beeld van de laterale verandering in de geo-elektrische gesteldheid van de ondergrond.

Kwantitatieve interpretatie is mogelijk wanneer slechts één van de factoren verandert. Dit kan de diepte van een laagvlak, de dikte van een laag of de resistiviteit van een laag zijn. Er moet een verband gezocht worden tussen de gemeten schijnbare resistiviteit en de te bepalen faktor. Een dergelijk verband kan gevonden worden binnen geo-elektrisch homogene gebieden waarin alleen deze faktor verandert. Dergelijke gebieden kunnen afgebakend worden met de hulp van een voorafgaande sonderingscampagne.

3. KWANTITATIEVE INTERPRETATIE VAN RESISTIVITEITS-PROFIELEN

In een voorbereidende fase wordt een net van resistiviteitssonderingen uitgebouwd met dezelfde opstelling als die waarmee de resistiviteitskartering of -profilering zal geschieden. De interpretatie van de schijnbare-resistiviteitskurven door vergelijking met de standaardkurven (TAVERNIER e.a., 1967) levert voor elke sondering de waarden van de geo-elektrische factoren, zoals de diepte en de resistiviteit.

Aan de hand van dat net met gelijke opstelling, b.v. Wenner, kan een gebied in geo-elektrisch homogene zones ingedeeld worden. Meestal behoren de schijnbare-resistiviteitskurven uit dezelfde zone tot hetzelfde type. Het kan evenwel gebeuren dat tweelagige en meerlagige types naast elkaar voorkomen. In het laatste geval mag het tweede deel van de kurve nagenoeg geen invloed hebben op het verloop van het eerste gedeelte.

Uit de sonderingen in één geo-elektrisch homogeen gebied worden alleen de kurven weerhouden die met zekerheid geïnterpreteerd werden voor wat betreft diepten en resistiviteiten.

Elke resistiviteitssondering omvat een reeks van schijnbare resistiviteiten die voor toenemende elektrodenafstanden gemeten zijn. Een van die afstanden wordt in de resistiviteitskartering gebruikt.

Uit die schijnbare resistiviteiten en de interpretatie van de kurven bepaalt men de waarde van de elektrodenafstand en ook het verband voor de kwantitatieve interpretatie die voor de resistiviteitskartering zullen gebruikt worden. Indien de diepte van het laagvlak h_n de gezochte faktor is, zet men alle geïnterpreteerde h_n -waarden uit de sonderingskurven in grafiek uit tegenover de korresponderende schijnbare resistiviteiten die bij elke sondering voor dezelfde elektrodenafstand gemeten zijn. Op die manier kan men een verband vinden tussen ρ_a en $h_n = f(\rho_a)$. Door de grafiek voor verschillende vaste elektrodenafstanden op te stellen kan de meest geschikte elektrodenafstand a voor de resistiviteitskartering bepaald worden.

4. RESISTIVITEITSPROFIELEN IN DE OMGEVING VAN BEERNEM

41. Inleiding

In de omgeving van Beernem bedekt een meestal dun kwartair zandig dek de eocene mariene afzettingen, die uit zand, zandige klei of klei bestaan. Deze lagen hellen zachtjes in noordoostelijke richting. Het maaiveld schommelt tussen +10 en +25(*).

Een honderdtal resistiviteitssonderingen volgens de Wenner-opstelling werden in dit gebied uitgevoerd. De gemiddelde afstand tussen de sonderingen bedraagt ca. 800 m. Meer dan in andere gebieden komen moeilijk interpreteerbare kurven voor. De meeste schijnbare-resistiviteitskurven wijzen op de aanwezigheid van drie en zelfs vier lagen. Bijna steeds duidt de eerste trap nochtans de grondwatertafel aan op een diepte van 1-2 m. De geo-elektrische interpretatie van de schijnbare-resistiviteitskurven wijst op snelle laterale variaties zowel wat betreft de resistiviteiten en het aantal lagen als wat de laagvlakdiepten aangaat. Een korrelatie tot litostratigrafische eenheden is dan ook niet gemakkelijk.

Een eenvoudig verband tussen de schijnbare resistiviteit voor een bepaalde elektrodenafstand en de waarde van een bepaalde geo-elektrische faktor is hier niet te verwachten en kwantitatieve interpretatie is dan ook uitgesloten zolang geo-elektrisch homogene gebieden niet afgebakend zijn.

In dit gebied werd de resistiviteitsprofilering beproefd met het oog op de detailstudie van de geo-elektrische heterogeniteit en de nauwkeurige begrenzing van geo-elektrisch homogene zones.

Langsheen het resistiviteitsprofiel kunnen immers stroken herkend worden waarbinnen gelijke schijnbare resistiviteiten gemeten worden of zich analoge schijnbare-resistiviteitsvariaties herhalen. Sommige resistiviteitsprofielen werden opgenomen met verschillende elektrodenafstanden. Het samengesteld resistiviteitsprofiel dat aldus bekomen werd

(*) Alle peilen worden aangegeven in meter boven of onder het nulpeil van Oostende (M.G.I.).

verschafft aanwijzingen over de verticale geo-elektrische gesteldheid die eveneens bij de zonering kunnen betrokken worden. Een kwalitatieve interpretatie van deze geo-elektrische gegevens laat toe de litologische en hydrologische kenmerken van de grondlagen nader te bepalen en vooral nauwkeuriger grenzen aan te geven. Deze kunnen gebruikt worden voor de afbakening van litostratigrafische stroken in de tertiaire ondergrond en de bepaling van de grondwaterreservoirs. Dit kon niet gedaan worden door elektrische sonderingen daar het vereiste aantal te groot is.

42. Terreinwerk

In de streek van Beernem werden verschillende opstellingswijzen toegepast ten einde hun mogelijkheden te vergelijken. Hierbij werden Wenner-opstellingen en axiaaldipoolopstellingen aangewend. Verschillende profielen werden aangelegd in december 1968, januari 1969, december 1970 en januari 1971. De ene verlopen volgens de helling, de andere volgens de strekking. Het veldwerk werd in bijna gelijkaardige omstandigheden van weer en grondwaterstand uitgevoerd. Het weer werd gekenmerkt door afwisselende regenperioden met temperaturen tussen -3° en $+7^{\circ}\text{C}$. Het grondwater werd bijna steeds op minder dan 1 m diepte aangetroffen. De resultaten van de verschillende metingen kunnen bijgevolg rechtstreeks met elkaar vergeleken worden.

De Wenner-profielen werden uitgevoerd met de opstelling loodrecht op de lijn. De afstanden tussen de elektroden bedroegen 20, 40 en 80 m. De afstand tussen de centra van de opeenvolgende metingen bedroeg gemiddeld 200 m. Gemakshalve wordt de schijnbare resistiviteit voorgesteld door ρ_{40}^{Wt} , waarbij 40 de elektrodenafstand is, W de Wenner-opstelling aanduidt en t op een transversale opstelling wijst.

De axiaaldipoolopstellingen werden evenwijdig aan de profiellijn verplaatst. De elektrodenafstanden en de afstanden tussen de centra van de voedings- en de meetdipool bedroegen resp. 2-20-2, 5-20-5, 5-40-5 en 10-40-10. In deze combinatie geeft het eerste getal de elektrodenafstand in de voedingsdipool, het laatste getal de elektrodenafstand in de meetdipool en het middelste getal de afstand tussen de binnenelektroden van de beide dipolen, d.w.z. de dipoolafstand. De gehele opstelling werd na een dubbele meting telkens over de dipoolafstand, hetzij 20, hetzij 40 m verschoven t.o.v. een binnenelektrode.

De schijnbare-resistiviteitswaarde voor een axiaaldipoolopstelling met gelijke lengte van de meet- en de voedingsdipool (2 m) en een dipoolafstand (20 m) kan voorgesteld worden door ρ_{2-20}^{Da} .

De apparatuur was dezelfde als voor normale sonderingen (DE BREUCK & DE MOOR, 1962), d.w.z. een kompensatiepotentiometer en een voeding tot 600 V gelijkstroom door batterijen. Als meetelektroden werden niet-polarizeerbare elektroden van koper en kopersulfaat aangewend. Voor de Wenner-profilering moet beroep gedaan worden op een

ploeg van drie man terwijl bij axiaaldipoolprofilering twee man volstaan om 50-70 metingen per dag uit te voeren.

43. Resultaten

431. Het profiel 136 GP/EE

Dit resistiviteitsprofiel werd opgenomen ten noorden van Beernem (fig. 1). De hoogte langsheen de profiellijn, die volgens de helling van

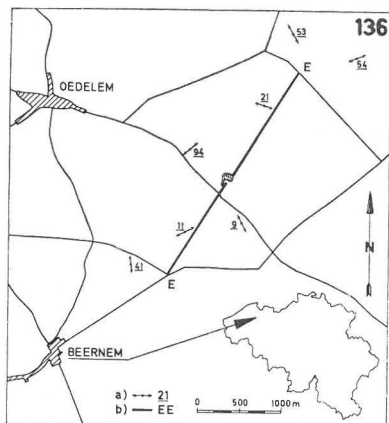


Fig. 1. Ligging van het geo-elektrisch profiel 136 GP/EE op kaartblad (M.G.I.) 13-6.

a. geo-elektrische sondering
b. profiellijn.

de lagen loopt (SW-NE), wisselt tussen +12 in de depressie van het kanaal Gent-Brugge in het zuiden en +23 op de heuvels van Oedelem in het noorden. De lengte bedraagt 2700 m. Hierin werden er 136 longitudinale axiaaldipoolmetingen verricht bij een 2-20-2-opstelling en 136 met een 5-20-5-opstelling op dezelfde plaatsen (fig. 2).

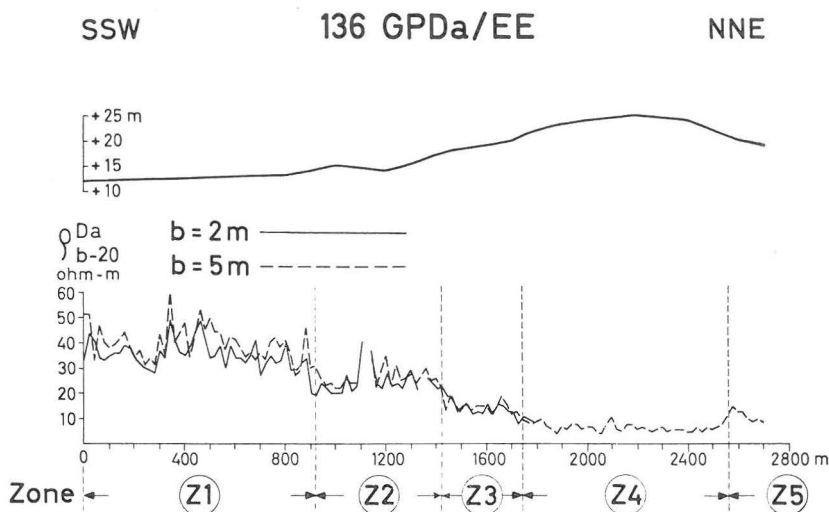


Fig. 2. Profiel 136 GP/EE nabij Beernem.

Volgens de waarde, het verloop en het verschil tussen de twee gemeten schijnbare resistiviteiten, kunnen langsheen het profiel verschillende geo-elektrisch homogene zones onderscheiden worden.

In een eerste zone (Z_1), die gekruist wordt tussen 0 en 920 m, liggen de schijnbare-resistiviteitswaarden hoger dan 30 Ω m. De waarden, gemeten met de beide opstellingen, variëren meestal in dezelfde zin. In deze zone kan hun onderling verschil soms meer dan 15 Ω m bedragen. Met de 5-20-5-opstelling wordt over het algemeen een hogere schijnbare resistiviteit gemeten dan met de 2-20-2-opstelling. Men kan er twee sub-zones in onderscheiden. Tussen de punten 60 m en 300 m en ook tussen de punten 560 m en 920 m schommelt de schijnbare resistiviteit tussen 30 en 40 Ω m. Tussen de punten 320 en 540 m ligt de schijnbare resistiviteit hoger en bedraagt zelfs 55 Ω m. De grondlagen zijn er dus minder geleidend.

In de zone Z_1 treden ook vaak snelle laterale wisselingen van de schijnbare resistiviteit op; ze zijn vooral uitgesproken in de subzone Z_1' . De schijnbare resistiviteiten veranderen soms met meer dan 50 percent van hun waarde over een afstand van 40 tot 60 m. Dit wijst op snelle laterale wisselingen in de geo-elektrische factoren en op een heterogeniteit waarbij niet alleen het aantal, de litologie en de afmetingen van de grondlagen maar ook het watergehalte een rol spelen.

In de zone Z_2 , tussen 920 en 1420 m, werden met beide opstellingen schijnbare resistiviteiten gemeten die minder verschillen. De laterale wisselingen zijn ook veel kleiner. Dit wijst op een grotere verticale en horizontale homogeniteit. De beide resistiviteitswaarden liggen er lager en variëren rond 25 Ω m met 20 en 30 Ω m als uiterste waarden.

In de zone Z_3 , tussen 1420 en 1740 m, zijn beide schijnbare resistiviteiten even groot; ook de laterale variaties zijn zeer gering. Beide schommelen rond 15 Ω m; op de zuidrand bestaat er een neiging tot stijging, op de noordrand tot daling. De horizontale en de verticale homogeniteit binnen de maximale indringingsdiepte blijken nog groter te zijn dan in zone 2.

In de zone Z_4 , tussen 1740 m en 2560 m, kon met de beschikbare apparatuur alleen de 5-20-5-waarde gemeten worden. Er komen slechts zeer geringe laterale schommelingen in de schijnbare resistiviteit voor, waarvan de waarde meestal tussen 6 en 8 Ω m blijft.

In de zone Z_5 , vanaf 2560 m, stijgt de waarde van de gemeten schijnbare resistiviteit opnieuw om vrij belangrijke schommelingen te vertonen tussen 10 en 15 Ω m.

Uit dit resistiviteitsprofiel met axiaaldipoolopstelling blijkt zeer duidelijk het bestaan van verschillende geo-elektrisch homogene gebieden, voor zover de maximale indringingsdiepte reikt. De begrenzing ervan is zeer nauwkeurig aan te geven. Een sleutelwaarneming in elk van die zones laat toe tot geologische interpretatie over te gaan.

In de zone Z_1 , gelegen op $+11$ tot $+13$, komt een middelmatig dik (5-10 m) jong-kwartair dek voor rustend op Onder-Paniseliaanzanden. Het reliëf is zeer vlak en aan het oppervlak treft men zand tot lemig zand aan met de grondwatertafel op geringe diepte en een podzolprofielontwikkeling (Bodemkaart van België, kaartblad Oedelem). Het kwartair dek is hoofdzakelijk zandig, maar op geringe diepte komen er leemhoudende lenzen in voor. Tussen 320 en 580 m blijkt het kwartair dek, dat binnen de indringingsdiepte voorkomt, zandiger te zijn.

De zone Z_2 strekt zich uit op $+15$ tot $+17$. Het dun zandig kwartair dek (2-5 m dik) rust er op een tertiair substraat van lemig fijn zand tot kleiig fijn zand met kalkzandsteenbankjes (Ledo-Paniseliaan). Deze laag is 5 tot 10 m dik en rust zelf op Onder-Paniseliaanzand.

In de zone Z_3 , waar de hoogte oploopt tot $+20$, is het kwartair dek meestal minder dan 2 m dik en overwegend zandig. Het rust op een laag Assiaanklei waarvan de dikte rond 5 m schommelt maar in noordelijke richting iets toeneemt door het onderduiken van het kontakvlak met het Ledo-Paniseliaan.

In de zone Z_4 , waar de hoogte eerst stijgt tot $+23$ en daarna opnieuw daalt tot $+20$, komt de Assiaanklei meestal op minder dan 2 m diepte voor onder zandig Kwartair. De dikte van de Assiaanklei bedraagt er 5 tot 10 m en neemt eveneens toe in noordelijke richting door het onderduiken van de basis. Resultaten van de resistiviteitssonderingen tonen aan dat de gemeten schijnbare resistiviteit met de resistiviteit van de kleilaag overeenstemt.

In zone Z_5 , waar het peil terug beneden $+20$ daalt, neemt de dikte van het zandig kwartair dek boven de Assiaanklei terug toe (2-5 m).

Dit profiel illustreert het belang van de goede inplanting en oriëntatie van een resistiviteitssondering binnen een geo-elektrisch homogeen gebied. Het werpt ook het probleem op van de invloed die snelle late-

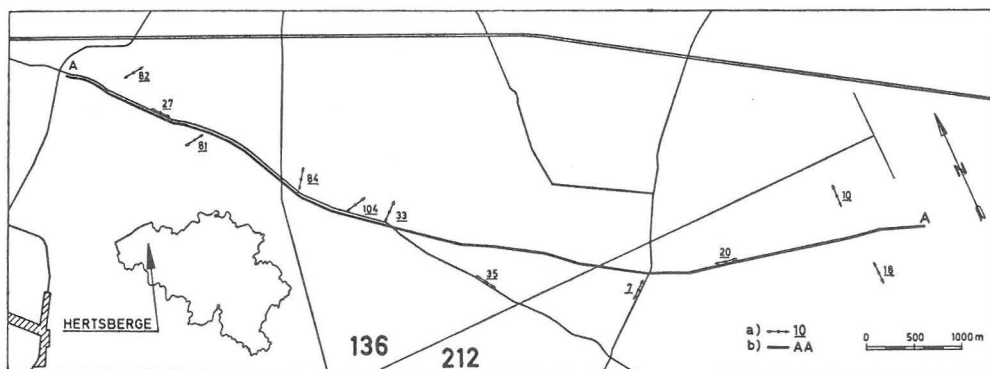


Fig. 3. Ligging van de geo-elektrische profielen 136-212 GP/AA op de kaartbladen (M.G.I.) 13-6 en 21-2.

- a. geo-elektrische sondering
- b. profiellijn.

rale resistiviteitswisselingen hebben op de gemeten schijnbare resistiviteit bij toenemende elektrodenafstanden in een resistiviteitssondering en op het verloop en de interpretatiemogelijkheid van de schijnbare-resistiviteitskurve.

432. *Profiel 136-212 GP/AA*

Dit profiel ligt ten zuiden van Beernem nabij Hertsberge (fig. 3). Het heeft een lengte van circa 9600 m en verloopt in NW-SE-richting die ongeveer die van de strekking is. Het volgt hoofdzakelijk landbouw-wegen, en over een kleine afstand tussen de punten 2620 m en 3740 m, ook een sekundaire baan.

Een eerste resistiviteitsprofilering (136-212 GPW/AA) werd uitgevoerd in december 1969 met transversale Wenner-opstelling voor elektrodenafstanden 20, 40 en 80 m (fig. 4). De afstanden langs de lijn tussen de opeenvolgende centra bedroegen gemiddeld 200 m, zodat in het totaal op 52 punten schijnbare resistiviteiten werden gemeten.

Langs dezelfde lijn werd in december 1970 een kontinu profiel met longitudinale axiaaldipoolopstelling opgenomen (136-212 GPDa/AA). Hierbij werden op 485 punten om de 20 m de schijnbare resistiviteiten gemeten met elektrodenafstanden 2-20-2 en 5-20-5 m (fig. 5). Langs-heen dezelfde lijn werden de schijnbare resistiviteiten ook gemeten om de 40 m met elektrodenafstanden van 5-40-5 en 10-40-10 m (fig. 6).

Daar het Kwartair in dit gebied zeer dun is en bovendien groten-deels uit geremanieerd Tertiair bestaat, weerspiegelen de geo-elektrische gegevens nagenoeg uitsluitend de litologie van het tertiair substraat.

De Wenner-profielen tonen aan dat met toenemende elektrodenafstand en dus met grotere indringingsdiepte de schijnbare resistiviteit over het algemeen afneemt. Over de hele lengte van het profiel benadert de ρ_{80}^W een waarde tussen 10 en 15 Ωm , wat wijst op een onderlaag met geringe resistiviteit. De ρ_{20}^W -waarden liggen daarentegen, behalve in een oostelijke en een westelijke randzone, veelal hoog. Ze overschrijden meestal 50 Ωm en getuigen van een belangrijke bovenlaag met een grote resistiviteit.

De drie schijnbare-resistiviteitswaarden vertonen echter belangrijke anomalieën op de Wenner-profielen. Ze komen vooral voor in de nabijheid van het radiozendstation van Ruiselede-Aalter. Het is niet uitgesloten dat zij een gevolg zijn van langdurige aardingstromen. Vooral de lagen met geringe resistiviteit blijken een te hoge resistiviteit te vertonen. Die anomalieën werpen een licht op het feit dat sommige schijnbare-resistiviteitskurven niet te interpreteren zijn.

De laterale variaties van de ρ_{80}^W zijn veel geringer dan voor de twee andere elektrodenafstanden. Op basis van de laterale variaties in het samengesteld resistiviteitsprofiel kan men langs de profiellijn vijf homogene zones onderscheiden.

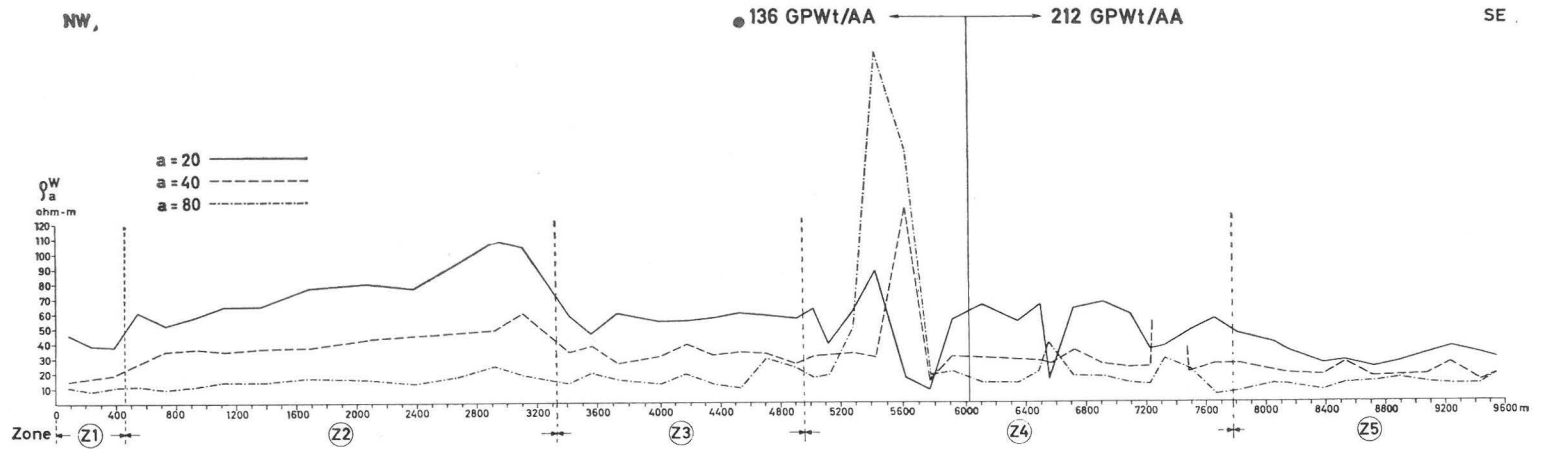


Fig. 4. Profiel 136-212 GPwt/AA met transversale Wenner-opstelling nabij Hertsberge.

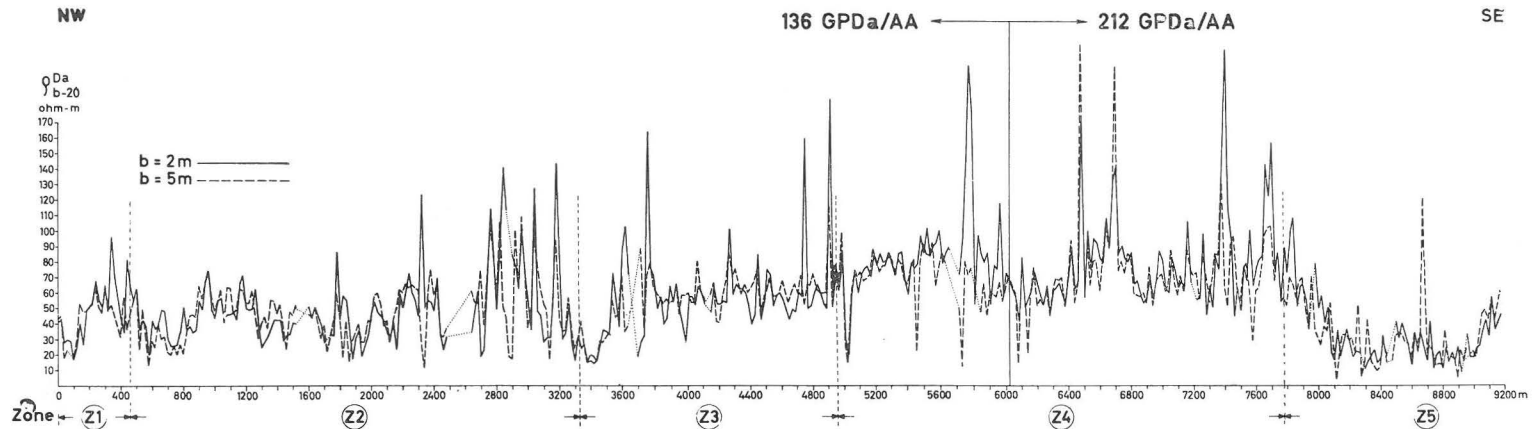


Fig. 5. Profiel 136-212 GPDa/AA met dipoolopstellingen 2-20-2 en 5-20-5 nabij Hertsberge.
Geïnterpoleerde waarden worden door een stippellijn aangegeven.

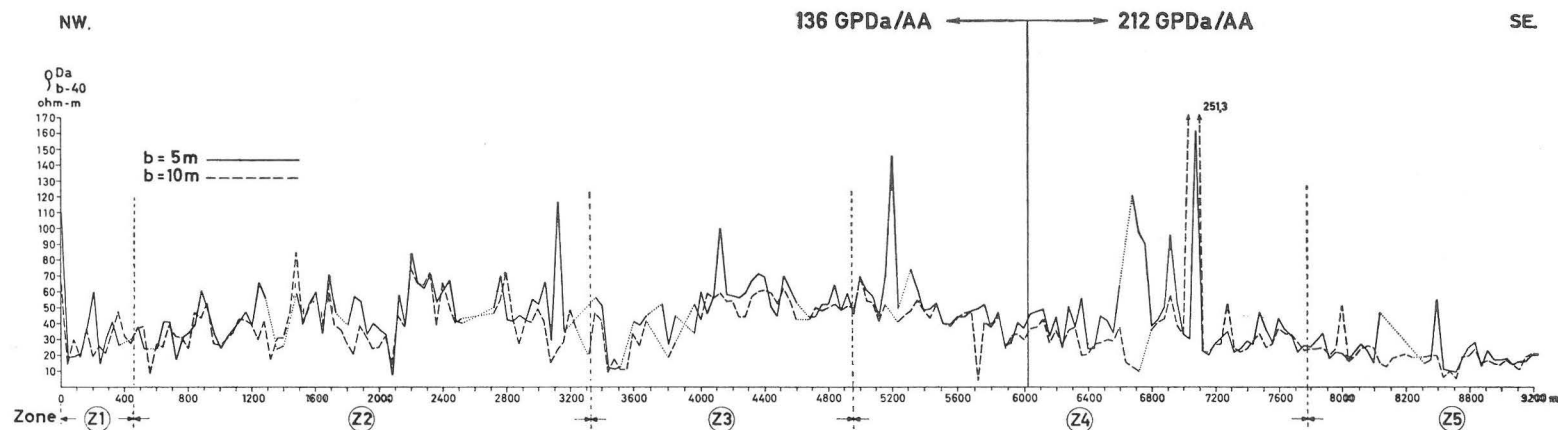


Fig. 6. Profiel 136-212 GPDa/AA met dipoolopstellingen 5-40-5 en 10-40-10 nabij Hertsberge.

Geïnterpoleerde waarden worden door een stippellijn aangegeven.

In de westelijke randzone (Z_1), tussen 0 en 460 m, vertrekken ϱ_{20}^W en ϱ_{40}^W van relatief lage waarden. Vooral ϱ_{40}^W ligt laag en daalt zelfs beneden 15 Ωm . Onder een bovenlaag met vrij hoge resistiviteit ($> 50 \Omega m$) komt hier reeds op betrekkelijk geringe diepte een meer geleidende laag voor die op grotere diepte moeilijk te onderscheiden is van een substraat met lage resistiviteit.

In de westelijk-centrale zone (Z_2), waar de hoogteligging stijgt van +17 tot +25, nemen de beide resistiviteiten voortdurend toe om tussen 2840 m en 3020 m hun hoogste waarde te bereiken, respectievelijk meer dan 50 Ωm voor de ϱ_{40}^W en meer dan 100 Ωm voor de ϱ_{80}^W . Daarna volgt een snelle daling die zich over 300 m voordoet en op 3300 m bereiken de beide waarden respectievelijk 35 en 50 Ωm .

In de centrale zone (Z_3), vanaf 3330 tot 4960 m en in de oostelijk-centrale zone (Z_4), vanaf 5060 tot 7920 m, blijft de ϱ_{20}^W schommelen rond 50-60 Ωm . In de centrale zone is er een grote laterale uniformiteit, in de oostelijk-centrale zone zijn er grotere schommelingen. De ϱ_{40}^W vertoont een algemene neiging tot langzame maar voortdurende daling die in beide zones doorloopt: van 35 Ωm in het westen daalt ze tot 20 Ωm nabij 7920 m. Vermits de ϱ_{20}^W niet daalt blijkt het substraat hetzij meer geleidend te worden, hetzij in dikte toe te nemen en/of zeer langzaam het oppervlak te naderen, wat met de oriëntatie van het profiel verband kan houden. In deze beide zones vertoont ϱ_{80}^W een geringere laterale uniformiteit en bereikt herhaaldelijk, afgezien van de anomalieën, waarden die boven 15 Ωm stijgen. De invloed van een geleidend substraat is hier dus minder uitgesproken, hetzij omdat het zich op grotere diepte bevindt of minder geleidend is, hetzij omdat het resistiviteitscontrast met de bovenliggende lagen groter blijft.

In de oostelijke randzone (Z_5), tussen 7780 en 7920 m, daalt ϱ_{20}^W over een afstand van 500 m van meer dan 50 Ωm tot 25-30 Ωm . De ϱ_{40}^W -waarden liggen meestal tussen 15 en 20 Ωm . In deze zone lopen de drie resistiviteitsprofielen dicht bij elkaar. Dit wijst op een vertikaal minder gedifferentieerde opbouw en op een globaal veel meer geleidend karakter van de lagen binnen de maximale indringingsdiepte. Gezien de lage ϱ_{20}^W -waarde komt een geleidend substraat hier dus veel dichterbij de oppervlakte. Daar de hoogteligging niet verandert wijst dit op een stijging van de geleidende laag.

De dipoolmetingen 2-20-2 en 5-20-5 laten een veel grotere dichtheid toe en verschaffen aldus een nauwkeuriger beeld van de geo-elektrische gesteldheid binnen de maximale indringingsdiepte.

De beide resistiviteiten vertonen belangrijke laterale variaties op zeer korte afstand. Ook het verschil tussen die waarden in elk waarnemingspunt verandert sterk. Er zijn waarnemingspunten en ook stroken waar de ϱ_{5-20}^{Da} hoger ligt dan de ϱ_{2-20}^{Da} ; elders is het andersom.

Deze dipoolmetingen bevestigen de zonering volgens de Wenner-metingen en laten zelfs verdere onderverdelingen toe. Op de oostkant

van de westelijke randzone stijgen de dipoolwaarden ver boven de ρ_{20}^W -waarden uit en bereiken zelfs meer dan 60 Ωm . In deze zone met geleidende laag op geringe diepte contrasteert de bovenlaag zeer sterk door haar hoge resistiviteit.

In de westelijk-centrale zone komen een viertal stroken van enkele honderden meters lengte voor waar de gemeten dipoolresistiviteiten nu eens de hogere ρ_{20}^W -waarden benaderen en dus een weinig geleidende bovenlaag aanwijzen (b.v. tussen 900 en 1260 m en ook tussen 2800 en 3100 m) en dan weer de lagere ρ_{40}^W -waarden benaderen en soms zelfs dalen tot nog lagere waarden die rond 20 Ωm liggen. Dit is vooral uitgesproken tussen 500 en 800 m en ook tussen 3100 en 3350 m.

Het is zeer weinig waarschijnlijk dat de indringingsdiepte van de symmetrische dipoolopstelling zodanig zou veranderen dat ze nu eens de indringingsdiepte voor de Wenner-20-opstelling, dan weer voor de Wenner-40-opstelling zou benaderen. Deze variaties tonen echter aan dat er naast stroken met een homogene weinig geleidende verticale bovenbouw, ook stroken zijn die verschillende honderden meters breed zijn, waar binnen de indringingsdiepte van de gebruikte dipoolopstellingen meer geleidende lenzen voorkomen waarin de resistiviteit tot beneden 20 Ωm daalt.

In de centrale zone liggen de ρ_{2-20}^{Da} zeer dicht bij de ρ_{20}^W . Tevens is dit de zone waar de kleinste verticale en laterale variaties tussen de dipoolwaarden voorkomen. Alle waarden liggen dicht bij 50 Ωm , wat op een zeer homogene samenstelling van een minder geleidende bovenlaag wijst.

In de oostelijk-centrale zone liggen de ρ_{2-20}^{Da} hoger dan de ρ_{20}^W en het verschil wordt oostwaarts steeds groter. Opvallend is echter dat de dipoolresistiviteiten hier boven de 50 Ωm blijven uitstijgen en verder oostwaarts, waar het meer geleidend substraat oprijst, zelfs 70 Ωm overschrijden. Zoals op de oostkant van de westelijke randzone blijkt dus ook hier, waar de meer geleidende onderlaag oprijst, de bovenliggende laag minder geleidend te worden. Dit is vooral duidelijk in het gedeelte tussen 5960 en 6040 m, waar de dipoolwaarden nog hoog zijn (rond 60 Ωm) en de ρ_{20}^W -waarden reeds beneden 30 Ωm gedaald zijn.

In de oostelijke randzone zelf benaderen de ρ_{2-20}^{Da} -resistiviteiten de ρ_{20}^W -waarden: ze schommelen rond 20 Ωm en dalen soms zelfs tot 10 Ωm . Ook hier worden met de dipoolmetingen dus schijnbare resistiviteiten gemeten die dezelfde zijn als de ρ_{40}^W -waarden. In de verticale opbouw is hun stratigrafische betekenis echter verschillend, vermits de ρ_{20}^W -waarden met intermediaire indringingsdiepte hoger liggen. Binnen de indringingsdiepte van de gebruikte dipoolopstellingen komt een zeer geleidende laag voor, die echter niet ononderbroken op een substraat met lage resistiviteit rust.

De resistiviteitsprofielen 136-212 GPDa/AA 5-40-5 en 10-40-10 (fig. 6) vertonen een grotere geo-elektrische homogeniteit in verticale zin; de

beide schijnbare resistiviteiten verschillen meestal weinig. De gemeten schijnbare resistiviteit ligt over het algemeen lager dan in de ρ_{20}^{Da} -metingen, wat op een toenemend kleigehalte wijst. Ook in laterale zin neemt de homogeniteit bij grotere indringingsdiepte toe.

De verschillende zones blijven merkbaar, maar meestal wordt de overgang geleidelijker. Lage ρ_{40}^{Da} -waarden die in de oostelijke en westelijke randzones gemeten werden lopen verder door naar het centrale gebied. Dit is vooral opvallend tussen 7150 en 7780 m, waar de beide ρ_{40}^{Da} -waarden meestal beneden 30 Ωm liggen. In de rest van de oostelijke randzone zijn beide ρ_{40}^{Da} -waarden kleiner dan de ρ_{20}^W -waarden. In de oostelijk-centrale zone blijkt het kleigehalte tamelijk snel met de diepte toe te nemen. Dit wijst erop dat de kleiige onderlaag geleidelijk vanuit de oostelijk-centrale zone opduikt. Hetzelfde doet zich voor in de westelijk-centrale zone tussen 850 en 1250 m. De toename van het globale kleigehalte binnen de indringingsdiepte is er echter kleiner dan in de zone Z_4 . In het oostelijk deel van zone Z_2 , ten oosten van 2200 m, en in de centrale zone Z_3 wijken de ρ_{40}^{Da} -waarden echter weinig af van de ρ_{20}^{Da} -waarden. Hier bevindt zich dus het gebied met het geringste globale kleigehalte binnen de indringingsdiepte of met de grootste diepteligging van het kleisubstraat. Tussen de beide gebieden Z_2 en Z_3 blijkt van 3250 tot 3550 m een ondiepe kleiige laag voor te komen die reeds bij de ρ_{20}^{Da} -waarden op te merken was.

Het gebied waar de dipoolmetingen de geringste vertikale en horizontale heterogeniteit vertonen strekt zich uit tussen 4100 en 4900 m. De gemeten resistiviteiten schommelen er rond 50 Ωm , wat op een uitgesproken zandig karakter en een hoge grondwatertop wijst en toelaat deze zone als het belangrijkste freatisch waterreservoir te beschouwen.

Vergelijking tussen de resultaten van de dipool- en de Wenner-opstellingen laat toe volgende besluiten te trekken in verband met de relatieve indringingsdiepte bij de verschillende opstellingen.

De indringingsdiepte bij de symmetrische axiaaldipoolopstelling hangt af van de lengte van de dipolen en van de afstand tussen beide paren. Inderdaad blijkt de indringingsdiepte voor de 5-40-5 kleiner dan voor de 10-40-10 en voor de 5-20-5 kleiner dan voor de 5-40-5.

De schijnbare resistiviteiten gemeten met de dipoolopstellingen 5-40-5 en 10-40-10 stemmen in de ene zone overeen met ρ_{20}^W , in de andere met ρ_{40}^W of intermediaire waarden. Dit kan echter aan de geo-elektrische opbouw en niet aan de opstelling toe te schrijven zijn. De dipoolopstelling blijkt nauwkeurig laterale heterogeniteiten aan te geven, vooral indien de elektrodenafstanden klein zijn.

Een profielopname met axiaaldipoolmetingen en goed gekozen elektrodenafstanden is gemakkelijker uit te voeren dan met de Wenner-opstelling die een zelfde indringingsdiepte heeft. De geringe lengte van de beide dipolen vermindert de invloed van lokale oppervlakkige heterogeniteiten. Voor resistiviteitskartering kan de axiaaldipoolopstelling

dan ook verkozen worden. Wanneer echter de lengte van elke dipool groter wordt dan 10 m verliest de axiaaldipoolopstelling het voordeel van de gemakkelijke en snelle behandeling.

Uit de vergelijking van de dipoolwaarnemingen met 5-20-5 en 2-20-2-opstellingen uitgevoerd in december 1969 en december 1970 blijkt dat de waarden voor beide perioden nagenoeg dezelfde zijn.

5. RESISTIVITEITSPROFIELEN IN DE WESTHOEK

51. Inleiding

De Westhoek omvat een gedeelte van het Kustgebied met Veurne als centrum. Het is een laaggelegen polderland waarin het maaiveld schommelt tussen +2 en +4. Het tertiair substraat wordt er gevormd door Ieperiaanklei. Dit substraat dat in het zuiden op ca. 15 km van de kust op sommige plaatsen aan de grens van de polders ontsluit, duikt zeer vlug onder en ter hoogte van Veurne bedraagt de dikte van het kwartaire dek meer dan 20 m. Aan de kust zelf bevindt de top van het substraat zich soms lager dan — 35.

Op dit substraat rust een kwartair dek dat hoofdzakelijk zandig is. De bovenste meters bestaan uit zandige of kleiige sedimenten en veen. De verdeling van deze sedimenten werd bepaald tijdens de recente Duinkerken-transgressies. Een inversie van het reliëf heeft als gevolg gehad dat de verzande krekken hoger zijn komen te liggen dan de klei-op-veengebieden (MOORMANN, 1951).

De zandige kwartaire sedimenten vormen een freatisch reservoir, dat onder een zoetwaterlaag meestal brak tot zout water bevat. De grens tussen zoet water en zout water is betrekkelijk scherp en varieert van 2 m tot meer dan 25 m diepte. De diepte van de zoet-zoutwatergrens wordt beïnvloed door de hoogteligging en de samenstelling van de overvlakkige lagen. De hooggelegen kreekruggen gedragen zich zoals duinen en hebben een zoetwaterzak ontwikkeld in functie van de omvang en de hoogte van de zandige sedimenten. Onder de laaggelegen klei-op-veenplaten komt het zoute water bijna aan het oppervlak (DE MOOR & DE BREUCK, 1969).

De resistiviteiten van de kwartaire sedimenten, gevuld met zoet porïenwater, variëren van 60 tot 20 Ω m. De bovenste toplaag bestaat soms uit kleilig materiaal wat een verlaging van de resistiviteit veroorzaakt. De resistiviteit van de met brak water gevulde sedimenten schommelt tussen 1 en 5 Ω m. Deze gegevens werden verkregen uit ca. 100 Wenner-sonderingen in het gebied zelf (8000 ha) en verschillende honderden Wenner-sonderingen in andere gedeelten van het Kustgebied.

Daar de resistiviteit van de brakke waterlaag slechts weinig verandert was het te verwachten dat alleen de diepte tot de verziltingsgrens een invloed zou uitoefenen op de schijnbare resistiviteit van zodra de indringingsdiepte voldoende groot gekozen werd. De derde laag

die in de resistiviteitssonderingen tot uiting komt ligt meestal zeer diep in de zone van Veurne. Dat is de Ieperiaanklei met een resistiviteit van 6-8 Ωm . Moest dus een geschikte afstand in de Wenner-sondering gevonden kunnen worden in het eerste gedeelte van de schijnbare-resistiviteitskurve, dan zouden de voorwaarden verwezenlijkt zijn voor een kwantitatieve interpretatie.

52. Kwantitatieve interpretatie van resistiviteitsprofielen

Vooraf werden de geo-elektrisch homogene zones in het Veurnse afgebakend. Hierin werden de zones met brakwatergrond uitgekozen om er profielen in uit te voeren. Alleen uit deze zones werden de sonderingskurven aangewend voor de kwantitatieve interpretatie van de profielen. Zo werden de sonderingen met een laagvlakdiepte tussen de zoetwaterlaag en het onderliggende tertiaire substraat niet in aanmerking genomen.

Van elke sondering werden de geïnterpreteerde diepte h en twee overeenstemmende schijnbare resistiviteiten (ρ_{10}^W en ρ_{20}^W) afgelezen. Deze gegevens werden als punten in een ρ_a^W/h_1 -grafiek verwerkt. Met een Hewlett-Packard-tafelrekenmachine S100 werd daarna de vergelijking van de meest waarschijnlijke rechte doorheen de punten bepaald.

Deze vergelijking heeft de vorm $y = mx + b$

$$\text{waarin} \quad m = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x}$$

$$\text{met} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad \text{en} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Het programma berekent ook de korrelatiecoëfficiënt

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

De gevonden vergelijking geeft het verband aan tussen de diepte van de verziltingsgrens en de schijnbare resistiviteit :

$$\begin{aligned} \text{met} \quad h &= 0,441 \cdot \rho_{10}^W \text{ m} + 0,123 \text{ m (fig. 7)} \\ r &= 0,956 \text{ voor 91 sonderingen} \end{aligned}$$

en $h = 0,589 \cdot \varrho_{20}^W \text{ m} + 0,429 \text{ m}$ (fig. 8)
 met $r = 0,936$ voor 90 sonderingen.

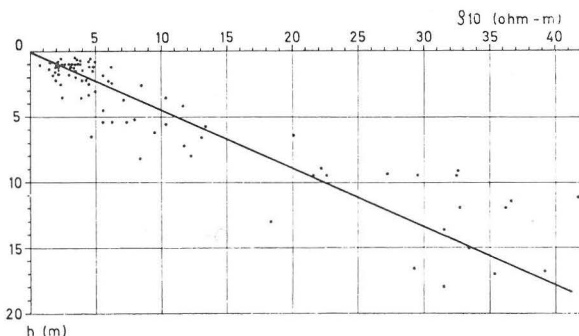


Fig. 7. Verband tussen de schijnbare resistiviteiten ϱ_{10} en de diepte van het grensvlak tussen zoet en brak water in de omgeving van Veurne.

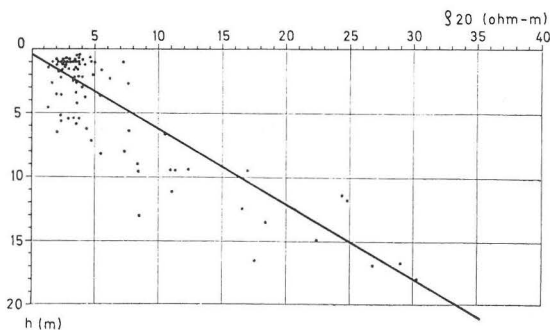


Fig. 8. Verband tussen de schijnbare resistiviteiten ϱ_{20} en de diepte van het grensvlak tussen zoet en brak water in de omgeving van Veurne.

53. Terreinwerk en resultaten

De zone rond Veurne is wegens de opbouw van de bovenste lagen sterk verbrokkeld in kleine percelen van bouwland en weideland. Een dicht netwerk van brede en diepe afvoergrachten scheidt de percelen. Daarenboven zijn de weiden afgezet met afsluitingen. Dat alles bemoeilijkt ten eerste de uitvoering van profielen. Daarom werden deze zo veel mogelijk uitgevoerd langs bestaande wegen of banen. In dat geval was het aangewezen de opstelling evenwijdig aan de profiellijn te verplaatsen.

Verschillende Wenner-profielen werden uitgevoerd (fig. 9). Besloten werd de elektrodenafstand op 10 m te houden en de ganse opstelling na iedere dubbele meting telkens over 10 m te verplaatsen. Het centrum van iedere meting werd op de kaart aangeduid met de daarbij horende resistiviteit ϱ_{10}^W . Deze resistiviteiten werden nu aan de hand van de formule

$$h = (0,441 \varrho_{10}^W + 0,123) \text{ m}$$

omgerekend in diepten. Het zijn deze geïnterpreteerde diepten die in de grafieken opgenomen werden.

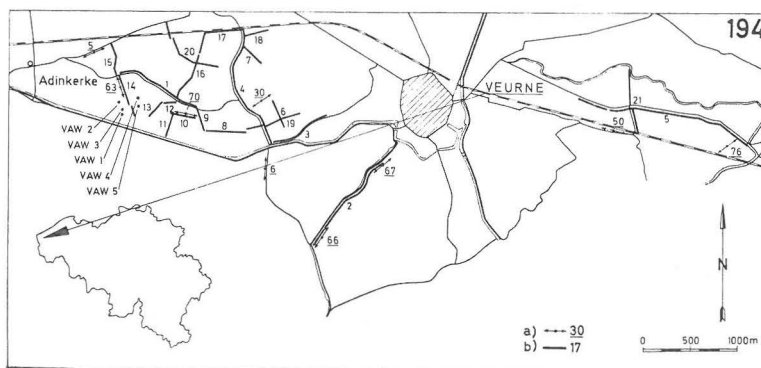


Fig. 9. Ligging van de geo-elektrische profielen 194 GPW1 tot 194 GPW21 en de vaste-afstandsmetingen VAW1 tot VAW5 op het kaartblad (M.G.I.) 19-4.

- a. geo-elektrische meting
b. profiellijn.

De profielen werden uitgevoerd in maart en juli 1970. In het totaal werden er 1135 punten opgenomen.

Een poging om met losse metingen q_{10}^W te karteren werd na een dag opgegeven omdat de verplaatsingen en de lokalisering in dit gebied te tijdrovend waren.

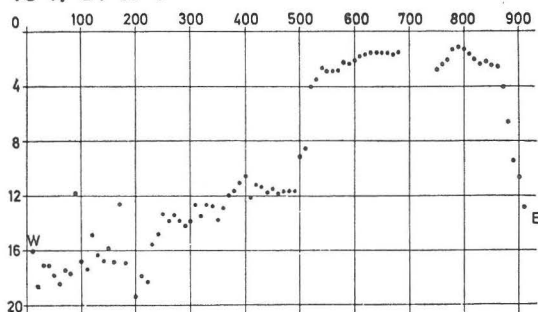
Het profiel 194 GPW1 (fig. 10) loopt over een afstand van 910 m langs de weg Adinkerke-Veurne. Het profiel vertrekt uit een kreekkrug met diepgelegen verziltingsgrens (18 m) over een poelgebied met een ondiepe verzilting op minder dan 2 m naar een andere kreekkrug. De overgang tussen de kreekruggen en de poelgronden is uiterst scherp begrensd. Dat blijkt duidelijk uit de punten 500 tot 510 en 870 tot 910. Sommige punten van het profiel vertonen sprongen waarvan sommige duidelijk te wijten zijn aan anomalieën of storingen, maar waarvan andere wijzen op sekundaire dalingen en stijgingen in het verziltingsoppervlak. Deze laatste zijn niet door sonderingen of zelfs door boringen te controleren. De onderbreking nabij het punt 70 is te wijten aan een brug waar metingen niet mogelijk waren.

Profiel 194 GPW2 (fig. 10) loopt over een afstand van 1130 m langs de weg van Bulskamp naar Veurne met een onderbreking van 80 m tussen 400 en 490 m. Het profiel kruist een kreekkrug waarin de verziltingsgrens zich gedeeltelijk op 3 m en gedeeltelijk op 7 m diepte bevindt. Bij 300 stijgt het brakke water over een afstand van 50 m steil van 7 naar 1 m diepte om op die diepte te blijven tot het einde van het profiel dat zich in een poelgrond bevindt.

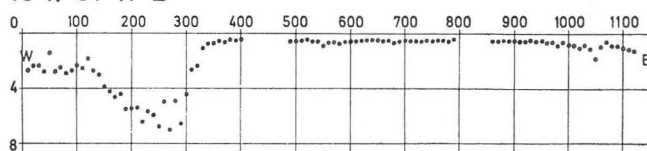
De lijn 194 GPW3 (fig. 12) vertoont geen zo'n duidelijk beeld als de voorgaande profielen. De diepte van het verziltingsoppervlak schommelt tussen 3 en 2 m. Het is niet uitgesloten dat dit te wijten is aan de nabijheid van een hoogspanningslijn. Deze onregelmatigheden blijken een overgang van kreekkrug naar poelgrond volledig af te schermen.

Het profiel 194 GPW4 (fig. 10) bereikt een lengte van 1260 m langs een weg. Het profiel verloopt grotendeels over een kreekrug met diepgelegen brak water. De wegkronkelingen over de zandige rug doen in

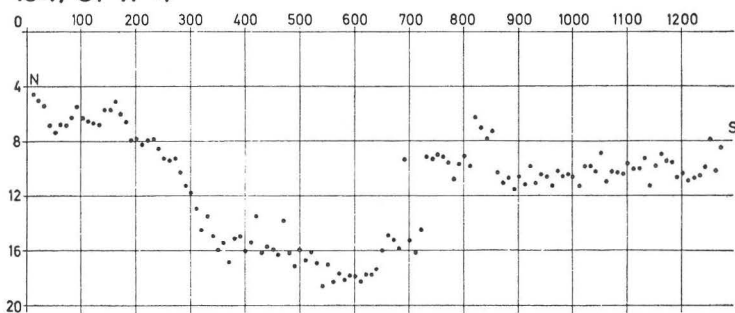
194/GPW 1



194/GPW 2



194/GPW 4



194/GPW 5

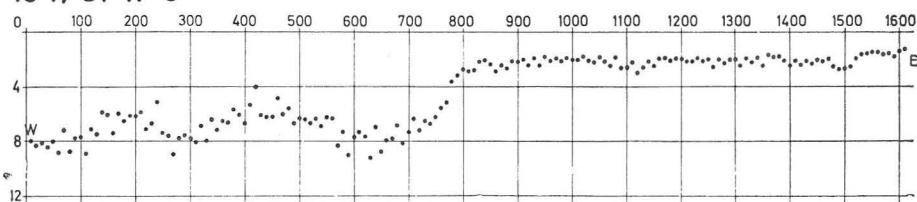


Fig. 10. Profielen met Wenner-opstelling ($a = 10$) 194 GPW1, 194 GPW2, 194 GPW4 en 194 GPW5 nabij Veurne. — De diepten van het verziltingsvlak zijn t.o.v. het maaiveld aangegeven. De afstanden zijn in meter uitgedrukt.

het profiel duidelijke wisselingen in diepte van 10 tot 20 m ontstaan. Op 1000 m verlaat de weg de kreekrug en komt terecht in een poelgrond met ondiepe verzilting.

Het profiel 194 GPW5 (fig. 10) langs de weg van Veurne naar Lampernisse is 1550 m lang. Het eerste gedeelte van 0 tot 250 m sluit volledig aan bij het tweede gedeelte dat vier weken vroeger werd opge-

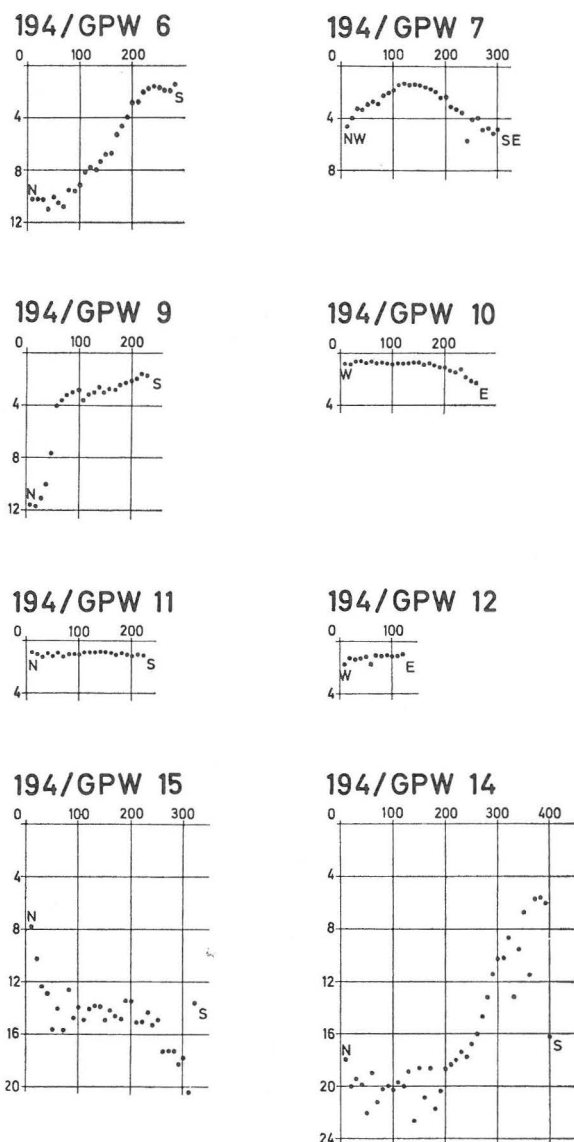


Fig. 11. Profielen met Wenner-opstelling ($a = 10$) 194 GPW6, 194 GPW7, 194 GPW9, 194 GPW10, 194 GPW11, 194 GPW12, 194 GPW14 en 194 GPW15 in de omgeving van Veurne. — De diepten van het verziltingsvlak zijn t.o.v. het maaiveld aangegeven. De afstanden zijn in meter uitgedrukt.

nomen. In het westelijk gedeelte bevindt het brakke water zich op een diepte van 7 m, wat op een zandig bovendeck wijst. In het oostelijk gedeelte verloopt het verziltingsvlak op 2 m onder het oppervlak. Dat was totaal in tegenspraak met een vroegere interpretatie, die aanleiding gegeven had tot het trekken van een diepe isohypse. Een nieuwe sondering (194 W76) heeft echter de profielgegevens volledig bevestigd. Het brakke water werd in de sondering op 1 m diepte aangetroffen.

Op 200 m ten oosten van 194 GPW4 verloopt 194 GPW6 (fig. 11) nagenoeg evenwijdig aan deze. Dit profiel toont duidelijk aan hoe snel lateraal het verziltingsvlak veranderingen ondergaat. De grens tussen de zoetwaterzak in de kreek en de brakke ondergrond is uiterst scherp.

Op ongeveer 1200 m op 194 GPW4 vangt het profiel 194 GPW7 (fig. 11) aan om in oostelijke richting te verlopen. Vertrokken uit een kreekrug loopt het profiel over een zone met ondiep brak water naar een tweede kreekrug. De ondiepe zone wordt door een later profiel 194 GPW18 bevestigd, waarin het een grotere oppervlakte inneemt.

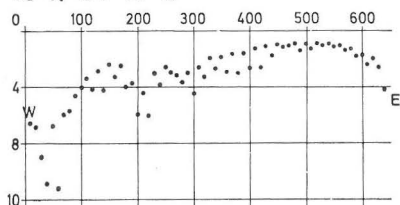
Vanaf 200 m op 194 GPW4 vertrekt in westelijke richting het profiel 194 GPW8 (fig. 12). De verziltingsgrens ligt merkkelijk dieper op 194 GPW8, waar zij zich op 18 m bevindt, dan op het aansluitende punt op 194 GPW4, waar zij slechts op 10 m aangetroffen wordt. Een dergelijke steile overgang wordt echter in het profiel zelf aangetroffen, nl. tussen 210 en 270 m, waar het brakke water stijgt van 18 tot 7 m. Profiel 194 GPW14 daarentegen, dat in het verlengde ligt van 194 GPW8, vertoont een langzame voortdurende stijging naar het oosten. 194 GPW8 loopt westelijk in een ondiepe zone.

Profiel 194 GPW9 (fig. 11) is slechts 225 m lang. Langs deze lijn stijgt de verziltingsgrens van 12 tot 3 m over een afstand van 75 m. Het profiel vangt aan in een laaggelegen gebied waar ook korte profielen 194 GPW10, 194 GPW11, 194 GPW12 (fig. 11) en 194 GPW13 (fig. 12) werden uitgevoerd. Alle wijzen op de geringe diepte van het brakke water, dat meestal op minder dan 2 m voorkomt. Van zuid naar noord daalt langs het profiel 194 GPW9 de verziltingsgrens van 2 tot 12 m, waar een kreekrug bereikt wordt.

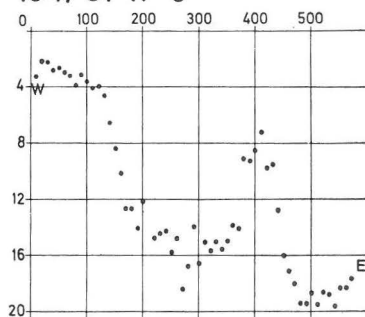
De profielen 194 GPW14 (fig. 12) en 194 GPW15 (fig. 11), die enigszins verschoven liggen ten opzichte van de voorgaande, vormen samen een kronkelende lijn van 750 m lengte. In het midden van die lijn ligt de verziltingsgrens op grote diepte, maar aan beide uiteinden stijgt deze zeer steil tot geringere diepten van 8 en 5 m. De gegevens van 194 GPW14 kloppen zeer goed met de uitslagen van de losse vaste-afstandsmetingen in de omgeving: 194 VAW1 (10,5 m), 194 VAW2 (15,6 m), 194 VAW3 (12,1 m), 194 VAW4 (10,5 m) en 194 VAW5 (8,8 m).

Het profiel 194 GPW16 (fig. 12) kan als een voorbeeld van doorsnede door een kreekrug gelden. Langs beide uiteinden bevindt de verziltingsgrens zich op 2-3 m, terwijl in het midden het brakke water op een diepte van 14 m voorkomt, dit niettegenstaande de kreekrug zeer smal is.

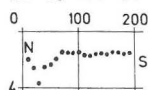
194/GPW 3



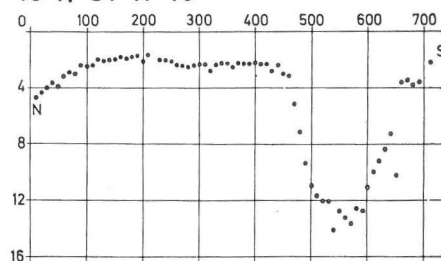
194/GPW 8



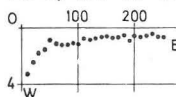
194/GPW 13



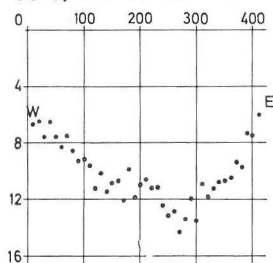
194/GPW 16



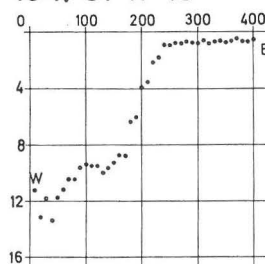
194/GPW 18



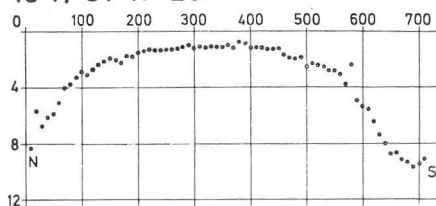
194/GPW 17



194/GPW 19



194/GPW 20



194/GPW 21

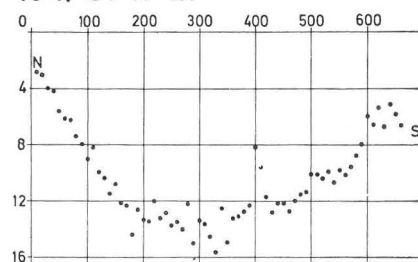


Fig. 12. Profielen met Wenner-opstelling ($a = 10$) 194 GPW3, 194 GPW8, 194 GPW13, 194 GPW16, 194 GPW17, 194 GPW18, 194 GPW19, 194 GPW20 en 194 GPW21 in de omgeving van Veurne. — De diepten van het verziltingsvlak zijn t.o.v. het maai-veld aangegeven. De afstanden zijn in meter uitgedrukt.

Het profiel 194 GPW17 (fig. 12) sluit bij het voorgaande aan, waar op het einde een nieuwe kreekzak zichtbaar wordt. Het profiel, evenwijdig aan 194 GPW8, werd uitgevoerd op dezelfde kreekrug. De kleine centrale opwelling is echter niet meer waar te nemen. Het volgende profiel 194 GPW18 (fig. 12) zet, na een onderbreking van 100 m, de lijn verder in een zone met ondiepe verzilting waar het brakke water tot op minder dan 1 m van het oppervlak opstijgt.

Op ongeveer 170 m van het zuidelijke uiteinde van 194 GPW4 begint 194 GPW19 (fig. 12) in de bovenvermelde kreekrug. Het verziltingsvlak vertrekt van ongeveer 10 m diepte tot op minder dan 1 m in oostelijke richting.

De lijn 194 GPW20 (fig. 12) loopt dwars door een gebied met ondiepe verzilting. Aan beide uiteinden echter bevindt het profiel zich echter in zones met diep brak water. De snijding met 194 GPW16 bevestigt ten volle de geringe diepte.

Het profiel 194 GPW21 (fig. 12), gelegen ten oosten van Veurne, kruist 194 GPW5 bijna loodrecht. Het is 650 m lang. Nabij de snijding met het profiel 194 GPW5 stijgt het verziltingsvlak zeer plotseling op een afstand van nauwelijks 30 m. Dat is geheel in overeenstemming met de diepten gevonden langs de eerste lijn.

De gegevens van deze resistiviteitsprospektie bevestigen duidelijk de reeds vroeger geformuleerde verklaring van het verband tussen de verdeling van het zoete en het brakke water en de morfologie en de litologie van de oppervlakkige sedimenten (DE PAEPE & DE BREUCK, 1958). Alhoewel dit bij een eerste aanblik algemeen het geval lijkt te zijn, blijken er nochtans sekundaire variaties op te treden, die aan andere oorzaken moeten worden toegeschreven.

6. RESISTIVITEITSPROFIELEN IN DE VLAAMSE VALLEI

61. Inleiding

De Vlaamse Vallei (TAVERNIER, 1946; DE MOOR, 1963) omvat een pleistocene geulensysteem, diep uitgegraven in het tertiaire substraat en opgevuld door pleistocene zandige sedimenten, die een dikte van 15-35 m bereiken. Dit vlak en laaggelegen landschap strekt zich uit van de Nederlandse grens tot ten zuiden van Gent. De gemiddelde hoogte stijgt van +3 in het noorden tot +10 in het zuiden. In de kwartaire sedimenten en plaatselijk in onderliggend zandig tertiair bevindt zich een freatische waterlaag. Onderaan wordt het reservoir afgesloten door tertiaire kleien.

In het noordelijkste deel van de Vlaamse Vallei worden de pleistocene zanden bedekt door oppervlakkige mariene sedimenten van subatlantische ouderdom. Dit noordelijk gebied is een polderland, waarvan de geschiedenis ingewikkelder is dan die van de Westhoek.

De definitieve inpoldering is jonger dan in de Westhoek. Na de doorbraak van Saaftinge-Biervliet (1375-1377) werd het gebied opnieuw overstroomd, daarna in de 15de en 16de eeuw bijna volledig ingedijkt maar bij het einde van de 16de eeuw terug onder water gezet waarbij zich nieuwe geulenstelsels ontwikkelden. Slechts vanaf de 17de eeuw werden de schorren opnieuw ingedijkt, maar dat gebeurde met kleine poldereenheden waarbij ook geulen gedeeltelijk afgesloten werden. Lange tijd echter bleven nog geulen bestaan waarin de vloed tweemaal per dag binnendrong (MARECHAL e.a., 1962). Het geulenstelsel van de Braakman werd zelfs maar in 1950 afgesloten.

In deze Watervlietse polders vormen de ingedijkte schorren de hogere delen van het mikoreliëf (+2 tot +4) en liggen de jongste polders meestal het hoogst. De schorresedimenten bestaan uit subatlantische afzettingen van zandleem, zwaar zandleem, lichte klei en klei, rustend op subboreaal veen of op het pleistoceen zand.

De geulen liggen lager, meestal tussen +3 en +1 en kunnen op verschillende ogenblikken afgesloten zijn van de getijdewerking. Reliëfinversie is hier niet merkbaar. Men onderscheidt geulen die dichtgeslibd zijn met klei of waarin meer zandige stroomdraadsedimenten droog liggen (type GS); daarnaast treft men geulen aan die niet dichtslibden, waarin zich sinds het afsluiten zoet oppervlaktewater verzamelt (type GW) en die deels verveend kunnen zijn (type GV); verder zijn er ook geulen die na het afsluiten bij de afvoer van zoet oppervlaktewater ingeschakeld werden (type GF).

Honderden Wenner-sonderingen werden in de Vlaamse Vallei uitgevoerd. In het noorden wijzen ze op de aanwezigheid van een onderlaag met lage resistiviteiten van 2-3 Ω m. Deze geo-elektrisch homogene zone omvat hoofdzakelijk het poldergebied, waar ook een brakwaterlaag in de diepte voorkomt zoals in het Kustgebied. De schijnbare-resistiviteitskurven in dit gebied vertonen een gelijkaardig verloop als die van de Westhoek.

Het lag dan ook voor de hand in dit gebied resistiviteitsprofielen uit te voeren met het oog op een snelle en gedetailleerde opname van de veranderingen van de verziltingsgrens.

62. Kwantitatieve interpretatie van het resistiviteitsprofiel

Binnen de geo-elektrisch homogene zone werden uit 85 geo-elektrische sonderingen de nodige gegevens gehaald om een verband tussen de diepte van de verziltingsgrens en een schijnbare-resistiviteitswaarde te leggen. De gegevens werden door de tafelrekenmachine tot het volgende verband verwerkt :

$$h = (0,273 \rho_{10}^w + 4,562) \text{ m (fig. 13)}$$

met een korrelatiecoëfficiënt $r = 0,80$ voor 85 sonderingen.

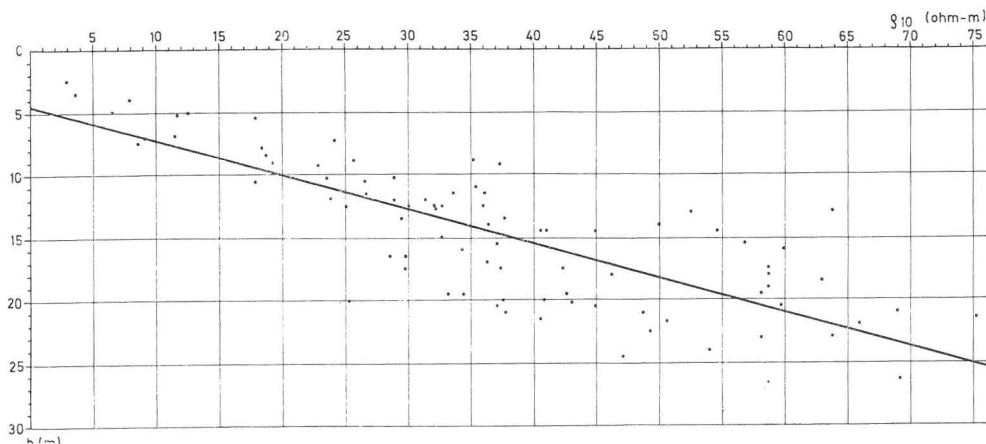


Fig. 13. Verband tussen de schijnbare-resistiviteitswaarden ρ_{10} en de diepten van het grensvlak tussen zoet en brak water nabij Zelzate.

63. Terreinwerk en resultaten

In juli en augustus 1970 werd een resistiviteitsprofiel 142 GPW1 opgenomen in de polders van Watervliet (fig. 14). De metingen werden

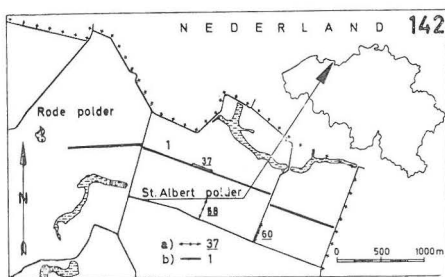


Fig. 14. Ligging van het geo-elektrisch profiel 142 GPW1 op het kaartblad (M. G.I.) 14-2.

- a. geo-elektrische sondering
- b. profiellijn.

uitgevoerd volgens de Wenner-opstelling evenwijdig aan de profiellijn met een elektrodenafstand van 10 m en verplaatsingen van 10 m. Het profiel is 3550 m lang en verloopt in een west-oostrichting.

De top van de verziltingsgrens (fig. 15), bekomen door interpretatie van de ρ_{10}^w -waarden, loopt van 1 tot 9 m diepte. Deze dieptewisselingen houden verband met de geschiedenis van de afzetting en de verdeling van de subatlantische sedimenten.

Het ingepolderde schorregebied van de westelijke St. Albertspolder, tussen de Smcutersdijk op 1250(*) en de lage dijkweg op 2550, ligt op +2 tot +2,5. Een oppervlakkige laag van lichte klei tot zandleem rust er meestal reeds op minder dan 1 m diepte op pleistoceen zand dat

(*) Alle punten zijn aangegeven in meters afstand tot het westelijk beginpunt van het profiel.

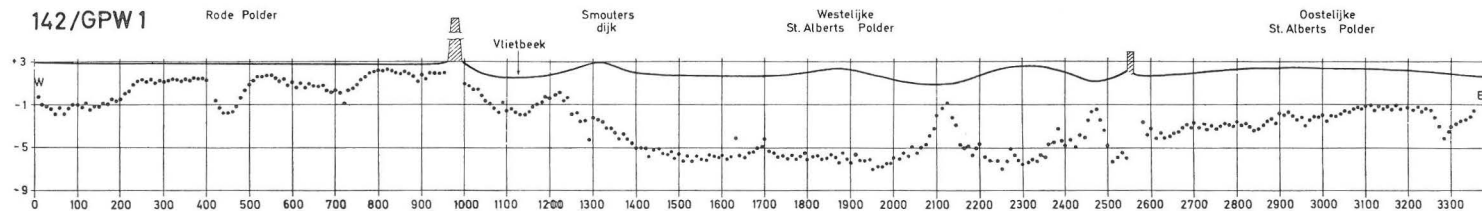


Fig. 15. Profiel met Wenner-opstelling ($a = 10$ m) in de polders ten NW van Zelzate. De punten geven het peil van het grensvlak tussen de zoete bovenlaag en de verzilte onderlaag aan. De volle lijn stelt het reliëf voor.

10 tot 15 m dik is. Het geo-elekrisch bepaalde verziltingsoppervlak bevindt zich hier tussen 8 en 9 m beneden maaiveld. Nergens elders langsheen dit profiel is het verziltingsoppervlak zo diep ingedrukt. Die grotere diepteligging is moeilijk te verklaren door een grotere hydrostatische druk van de zoete bovenlaag. Dit gebied ligt een weinig lager dan de aangrenzende gebieden met minder diep verziltingsoppervlak; de grondwatertop bevindt zich overal op dezelfde geringe diepte (drainageklasse d volgens de Bodemkaart van België) en de doorlatendheid van de bovenlaag verschilt weinig. De grotere diepteligging is waarschijnlijk een gevolg van een vroegere drooglegging of van een snellere diffusie nabij de verziltingsgrens.

In de oostelijke St. Albertspolder, tussen 2560 en 3350, en in het westelijk deel van de Rode Polder, tussen 0 en 200, kruist het profiel eveneens ingepolderde schorregebieden. Ze bevinden zich respectievelijk op +2 tot +2,5 en op +3; de oppervlakkige laag bestaat er eveneens uit zandleem en lichte klei op geringe diepte rustend op pleistoceen zand. In beide gedeelten wordt het verziltingsoppervlak slechts op 4 tot 5 m beneden het maaiveld aangetroffen. Een kortere vormingsduur van de oppervlakkige zoetwaterlaag eventueel gepaard met een geringere diffusie blijken de meest voor de hand liggende verklaring.

In deze verschillende schorregebieden loopt het profiel ook over dichtgeslibde geulen (type GS). In de Rode Polder, tussen 200 en 900 (Philippinedijk) volgt het profiel de bedding van een met lichte klei dichtgeslibde geul gelegen op +3 tot +2,5. In de westelijke St. Albertspolder kruist het twee met zandleem en lichte klei dichtgeslibde geultjes, gelegen nabij 2120 en nabij 2480 op een peil +2 tot +1. Overal komt ook hier de grondwatertafel op dezelfde geringe diepte voor. Het verziltingsoppervlak ligt er telkens op meestal minder dan 2 m beneden het maaiveld; het daalt snel aan beide kanten van de geulen.

Onder deze geulen bestaan er dus brakwaterruggen die het lager gelegen verziltingsoppervlak volgen. Het zoete water dat zich tijdelijk in deze verlaten geulen verzamelt blijkt dus nog maar weinig de brakwatertop ingedrukt te hebben. In de Rode Polder en in de St. Albertspolder liggen de geulen respectievelijk op 0,5 en op 1,5 tot 2 m beneden het omgevende polderoppervlak; het verziltingsoppervlak ligt er op respectievelijk 4 tot 5 m en op 8 tot 9 m. Nochtans is de diepte van de brakwaterrug in beide gevallen nagenoeg gelijk en in de Rode Polder zelfs eerder kleiner. Afgezien van de mogelijkheid dat het zoutgehalte onder beide geulenstelsels verschillend zou zijn, lijkt een laterale oppersing van de brakwaterruggen door de zoetwaterzak onder de hogergelegen tussenliggende schorregebieden weinig waarschijnlijk. Het ontstaan van deze brakwaterruggen dient eerder aan zoutwaterinfiltratie vanuit de vroegere open geulen toegeschreven te worden.

De grote geul die tussen de Philippinedijk en de Smoutersdijk voorkomt is deels dichtgeslibd met lichte klei, maar een centrale ader, de

Vlietbeek, wordt permanent voor de oppervlakkige zoetwaterafvoer gebruikt (type GF). Op de randen van deze geul komt het verziltingsoppervlak eveneens op minder dan 2 m voor, maar in het centrum, onder de Vlietbeek, is het verziltingsoppervlak meer ingedrukt.

Het is duidelijk dat de steile stijging van het verziltingsvlak, zoals dit tussen 2120 en 2460 plaatsgrijpt, waar het stijgt van 8 tot minder dan 2 m diepte over een afstand van nauwelijks 100 m, niet door sonderingen met elektrodenafstanden van 100 m kan gemeten worden. Een zo snelle verandering doet de schijnbare resistiviteit onregelmatig veranderen waardoor de sondeerkurve soms niet te interpreteren is.

BESLUIT

Resistiviteitsprospektie met vaste-afstandsofstelling vormt een zeer goed hulpmiddel bij de kartering van de geologische en de hydrogeologische gesteldheid. Ze kan ook een belangrijke rol vervullen bij geotechnische studies.

Het grootste voordeel berust in het feit dat de waarnemingen zeer snel in een groot aantal punten kunnen uitgevoerd worden en dat deze punten zeer dicht bij elkaar kunnen geplaatst worden. De keuze tussen resistiviteitsprofilering of resistiviteitskartering en de keuze van de elektrodenafstand en de opstellingswijze dienen voor elk probleem en ieder gebied afzonderlijk beslecht te worden.

Een moeilijkheid bij het gebruik van deze opnamemethode bestaat erin dat er slechts één enkele schijnbare resistiviteit gemeten wordt die door veel factoren tegelijkertijd beïnvloed kan worden. Daarvoor kan niet altijd een onmiddellijke interpretatie gegeven worden. Afzonderlijke resistiviteitsmetingen zijn zeer vatbaar voor toevallige anomalieën, waarvan het effect echter uitgeschakeld wordt door het aantal punten voldoende groot te nemen.

Resistiviteitsprofielen meten zeer nauwkeurig de laterale veranderingen in de geo-elektrische gesteldheid binnen de indringingsdiepte. Dergelijke laterale variaties worden door boringen of sonderingen slechts toevallig ontdekt. Ze geven bij de sonderingen soms aanleiding tot vervormde kurven en daardoor tot verkeerde interpretaties. Wanneer verschillende opstellingen langs een zelfde lijn gebruikt worden ontstaat een samengesteld profiel, dat een kwalitatief inzicht geeft in de opbouw of de hydrologische gesteldheid binnen de indringingsdiepte. Hiermee kunnen geo-elektrisch homogene gebieden afgebakend worden, waardoor geo-elektrische sonderingen en boringen met grotere kans op welslagen kunnen ingeplant worden.

De kwalitatieve interpretatie van een enkelvoudig of beter van een samengesteld profiel in functie van de geologische of de hydrogeologische gesteldheid steunt op het verloop van de absolute waarden of de waardeverschillen van de schijnbare resistiviteiten. In ieder geval dient, indien

mogelijk, de interpretatie gesteund op waarnemingen door betrouwbare sonderingen of boringen, waarvan echter een gering aantal in elk van de homogene gebieden voldoende is.

Een kwantitatieve interpretatie van vaste-afstandsofstellingen kan uitgevoerd worden wanneer men in een geo-elektrisch homogeen gebied werkt, liefst met een tweelagig systeem. Vooraleer de kartering of de profilering aan te vatten dient een verband gezocht tussen de diepte van het laagvlak en verschillende schijnbare resistiviteiten. Dit verband wordt afgeleid uit geo-elektrische sonderingen in hetzelfde geo-elektrisch homogeen gebied. Als voorwaarde geldt dat de geologische en hydrogeologische toestand bij benadering moet bekend zijn om de sonderingen uit te kiezen. Uit dit verband wordt de meest geschikte afstand gekozen voor de elektrodenopstelling.

De profiellijnen worden best langs wegen of in gemakkelijk toegankelijke zones gelegd. Op die manier wordt veel tijd en arbeid bespaard en bereikt men een maximum rendement. In dit verband dient aangestipt dat de losse vaste-afstandsmetingen of de resistiviteitskartering veel aan bruikbaarheid inboeten.

Resistiviteitsprospektie kan met zeer uiteenlopende opstellingen uitgevoerd worden. Wil men echter kwantitatief interpreteren, dan moet men bij voorkeur dezelfde opstelling aanwenden als die gebruikt bij de voorafgaande sonderingen.

De axiaaldipoolopstelling met kleine dipool lengten maakt snelle opnamen mogelijk. De resultaten echter zijn niet overal rechtstreeks te vergelijken met die van de Wenner-opstelling met gelijkaardige afstanden.

SAMENVATTING

In verschillende gebieden van Laag-België werden geo-elektrische profielen opgemeten met het oog op hun toepassing voor geologische en hydrogeologische detailopnamen. Drie gebieden, die vroeger reeds door een net van geo-elektrische sonderingen verkend waren, werden hiervoor uitgekozen. De sonderingen werden meestal uitgevoerd volgens de Wenner-opstelling.

In de omgeving van Beernem werden verschillende opstellingen langs dezelfde profiellijn beproefd. De resultaten van deze veelvoudige profielen hebben toegelaten de verschillende opstellingen met elkaar te vergelijken. Tevens hebben ze geleid tot een gedetailleerde onderverdeling in geo-elektrisch homogene zones die samenvallen met litologische eenheden. Langs het profiel 136 GP/EE werden over een afstand van 2,7 km axiaaldipoolmetingen uitgevoerd. Voor ieder punt werden twee schijnbare resistiviteiten bepaald: één met opstelling 2-20-2 en één met opstelling 5-20-5. Het eerste getal geeft de lengte in meters van de voedingsdipool aan, het laatste de lengte van de meetdipool en het mid-

delste de afstand tussen de binnen-elektroden van beide dipolen. Op het profiel 136-212 GP/AA van 9,6 km lengte werd de Wenner-opstelling loodrecht op de lijn gebruikt om de waarden ρ_{20} , ρ_{40} en ρ_{80} te bepalen. Langs dezelfde lijn werden schijnbare resistiviteiten gemeten met axiaal-dipoolopstellingen 2-20-2, 5-20-5, 5-40-5 en 10-40-10, die evenwijdig aan het profiel verplaatst werden.

In de Westhoek, die een gedeelte van de Kustvlakte vormt, komt brak water voor in het freatisch reservoir. In de omgeving van Veurne werden 21 profielen (194 GPW1 tot 194 GPW21) in longitudinale Wenner-opstelling uitgevoerd. Alle geo-elektrische profielen bevinden zich in dezelfde geo-elektrisch homogene zone. Hierdoor konden de profielen kwantitatief geïnterpreteerd worden. Een verband tussen ρ_{10} en de diepte van de zoetwater-brakwatergrens werd afgeleid uit de vroegere sonderingen. Dit verband werd aangewend om de gemeten schijnbare resistiviteiten in diepten om te zetten.

Onder het poldergebied van de Vlaamse Vallei ten noorden van Gent bevindt zich eveneens een freatisch reservoir met brakwatervoor-komen. De omstandigheden gelijken zeer goed op die van de Kustvlak-te, alhoewel de verklaring van de zoetwater-brakwaterverdeling niet zo voor de hand ligt. Een enkel profiel, 142 GPW1, werd er opgemeten met longitudinale Wenner-opstelling voor ρ_{10} over een lengte van 3550 m. Een verband tussen ρ_{10} en de diepte van de verziltingsgrens gesteund op vroegere sonderingen werd gebruikt voor de omrekening van de schijnbare resistiviteiten in diepten van het grensvlak.

Resistiviteitsprofielen vormen een nauwkeurige en snelle manier voor de detailkartering. Zelfs een kwalitatieve interpretatie van een profiel, bij voorkeur veelvoudig, volstaat om de litologisch en hydro-geologisch homogene gebieden scherp te begrenzen. Kwantitatieve interpretatie is mogelijk wanneer met een vooraf aangelegd sonderingsnet een verband tussen de vaste opstelling en de te zoeken faktor kan ge-legd worden. Eens dit verband gevonden, leiden vaste opstellingen tot een meer gedetailleerde opname dan de resistiviteitssonderingen. Deze laatste immers worden meestal lang genoeg uitgezet om een betrouw-bare kurve te bekomen. Daardoor worden de bekomen gegevens, diep-ten en resistiviteiten, gemiddeld over veel grotere afstanden genomen dan met de vaste opstellingen die meestal zo kort mogelijk zijn. Wanneer slechts kwalitatieve interpretatie beoogd wordt, blijken axiaaldipool-opstellingen sneller te zijn dan de Wenner-opstelling.

LITERATUUR

- AMERYCKX, J. B. (1959). — De ontstaansgeschiedenis van de Zeepolders. *Biekerf*, 60, n° 118, 377-400.
- BHATTACHARYA, P. K. & PATRA, H. P. (1968). — *Direct current geoelectric sound-ing*. Amsterdam : Elsevier.
- DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. (1962). — Premiers résultats d'une prospection

- électrique dans la Vallée Flamande. *Bull. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol.*, **71**, 518-543.
- DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. — (1969). — The water-table aquifer in the Eastern Coastal Area of Belgium. *Bull. Int. Ass. Sci. Hydrol.*, **14**, 1-19.
- DE MOOR, G. (1963). — Bijdrage tot de kennis van de fysische landschapsvorming in Binnen-Vlaanderen. *Tijdschr. Belg. Ver. Aardrijksk. Stud.*, **32**, 329-433. (Verhandeling n° 13).
- DE MOOR, G. & DE BREUCK, W. (1964). — Geo-elektrisch onderzoek bij de geologische overzichtskartering van West-Vlaanderen. *Natuurwet. Tijdschr.*, **46**, 215-240.
- DE MOOR, G., DE BREUCK, W. & MARECHAL, R. (1969). — La nappe phréatique de la Vallée Flamande. *Bull. Soc. belge Géol. Hydrol. Paléont.*, **78**, 159-172.
- DE PAEPE, J. & DE BREUCK, W. (1958). — *De drinkwatervoorziening van de landbouwbedrijven in West-Vlaanderen*. (Brugge), Provincie West-Vlaanderen. (Economische monografieën).
- KELLER, G. V. & FRISCHKNECHT, F. C. (1966). — *Electrical methods in Geophysical Prospecting*. New York : Pergamon Press.
- MARECHAL, R., DE BREUCK, W., DE MOOR, G. & VERHEYE, W. (1961). — Geologie in : *Survey van West-Vlaanderen*. Gent : Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit.
- MOORMANN, F. R. (1951). — De bodemgesteldheid van het Oudland van Veurne-Ambacht. *Natuurwet. Tijdschr.*, **33**, 3-124.
- TAVERNIER, R. (1946). — L'évolution du Bas-Escaut au Pléistocène supérieur. *Bull. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol.*, **55**, 106-125.
- TAVERNIER, R. (1947). — L'évolution de la Plaine Maritime belge. *Bull. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol.*, **56**, 332-343.
- TAVERNIER, R., DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. (1967). — Geo-elektrisch onderzoek in de omgeving van Lessines. *Med. Kon. Acad. Wet. Lett. Sch. K. België, Kl. W.*, **29**, n° 11.

Rijksuniversitair Centrum Antwerpen
Geologisch Laboratorium.

Rijksuniversiteit Gent
Geologisch Instituut.

(Ingekomen 10 februari 1971).
